

江苏省稻麦复种合理轮耕制的研究*

黄细喜 刘世平 陈后庆 邵达三

(江苏农学院, 扬州, 225001)

摘 要

本文通过对江苏省不同农区土壤耕法调查和定位试验, 比较了三种不同耕法对稻麦产量和土壤肥力的影响。结果表明, 在同期播种的条件下, 少、免耕麦增产机率大, 且粘壤土大于砂壤土。免耕稻在人工栽插的条件下, 易造成减产, 其幅度是粘壤土类大于砂壤土类。两者增减产变幅, 都有从南到北($N32^{\circ}10'$ — $N34^{\circ}30'$)逐渐增大的趋势。连续少、免耕明显地提高了土壤表层养分, 但7cm以下土壤容重增大, 有机质、速效氮、磷、钾均有所下降, 草害严重, 影响作物高产。在试验的基础上, 作者提出了适应不同农区土壤, 以少耕为主体, 少、免耕交替, 定期耕翻的深耕、浅耕、免耕有机结合的轮耕新体制, 较好地解决了少、免耕连续应用所带来的弊端, 为稻麦持续高产提供了科学耕作新技术。

关键词 稻, 麦, 复种, 少、免耕, 轮耕

80年代以来, 江苏土壤耕作的研究, 在吸收国内外研究成果, 总结传统经验的基础上, 针对稻麦主干种植制, 提出少、免耕栽培技术, 并对其机理和应用技术进行了系统研究^{[1,2,5],1)}, 尤以太湖地区的研究更为深入^{[3,4,6],2)}。但少、免耕之后是否就是不要耕翻? 农田少、免耕与耕翻间隔多长时间为佳? 对这些悬而未决的问题, 在“七五”期间我们进行了研究。

一、材料与方 法

试验在江苏省徐淮、里下河、沿海、沿江、丘陵与大农区10个市县进行, 大田定位试验4—10年, 供试土壤的理化性质如表1。设3个处理, 即常规耕作(简称常耕, 耕深14cm左右); 浅层施耕(简称少耕, 耕深5—7cm); 三麦免耕机条播, 水稻板茬栽插(简称免耕, 耕深0—3cm), 各处理3次重复, 随机区组排列。

针对少、免耕在大面积生产中所暴露的问题, 为寻求建立合理轮作制, 我们进行了一系列试验, 包括不同耕法组合; 不施肥条件下的耕法效应; 烂耕烂种; 秸秆还田; 晒垡效应; 施肥方法及运筹等; 不同土壤紧实度与稻麦生长的关系; 同位素示踪等辅助试验。所有试验注意点面结合, 示范、推广并行。

* 本文为“七五”重大科技攻关项目“新型耕作栽培技术及其应用研究”的一部分。全文承南京土壤研究所赵诚斋副研究员审阅, 并得到张山泉、沈明星同志的大力协助, 在此一并致谢。

1) 潘遵谱等, 1989: 对江苏省稻麦地区土壤耕作管理技术发展的回顾与展望。

2) 董百舒等, 1985: 太湖地区三麦免耕的研究与推广。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Some physical and chemical properties of soils used in the experiment

地点 Site		土壤类型 Soil type	物理粘粒 <0.01mm (%) Physical clay	粘 粒 <0.001mm (%) Particle	有机质 (g/kg) O. M.	全氮 (g/kg) Total N	速效氮 (mg/kg) Available N	速效磷 (mg/kg) Available P	速效钾 (mg/kg) Available K
徐淮	沛县 淮阴	淤土 砂壤土	70.6	28.6	16.9	1.26	89.1	9.7	128.3
			18.2	10.2	12.1	0.83	49.9	3.9	67.9
黑下河	建湖 兴化	黑黄土 黏泥土	71.1	41.4	19.5	1.55	107.9	6.7	127.6
			44.7	22.5	19.2	0.89	91.8	8.2	154.0
沿海	如东	粉砂壤土	32.2	18.6	10.6	0.92	60.6	3.0	135.0
沿江	靖江 扬州	淤砂土 砂壤土	51.7	19.7	19.6	1.15	64.0	3.8	42.0
			20.0	11.5	12.1	1.07	80.9	299.1	254.7
丘陵	丹阳	马肝土	42.3	21.6	15.9	1.01	84.7	11.9	66.9

二、结果与讨论

(一) 不同耕法对稻麦产量的效应

五年来,在各试区共进行了 310 组不同耕法的对比试验,考虑到土壤质地是影响耕性的主要因素,因此将各试点土壤按质地归纳为砂壤土类(包括砂壤和轻壤土)和粘壤土类(包括中壤和轻壤土)两组。从稻麦少、免耕增产的频数看(图 1),稻茬麦少、免耕增产机

表 2 不同质地土壤少、免耕对稻麦产量的影响

Table 2 Effect of no and minimum tillage on yields of rice and wheat on soil of different textures

土壤类型 Soil type	试验地点 Site	稻麦产量(相对%常耕区为 100) Yield of rice and wheat (relative value, yield of conventional tillage as 100)					
		小 麦 Wheat			水 稻 Rice		
		对比点次 No. of comparisons	少 耕 Minimum tillage	免 耕 Notillage	对比点次 No. of comparisons	少 耕 Minimum tillage	免 耕 Notillage
砂壤土类	淮阴	9	108.8	108.0	9	100.8	94.6
	扬州	9	101.8	104.3	9	104.6	96.7
	如东	9	103.7	99.6	6	101.7	102.9
	如皋	9	105.3	106.3	6	104.6	103.4
	平均		104.9	104.6		102.9	99.4
粘壤土类	沛县	9	104.4	115.4	9	93.1	92.6
	建湖	9	104.8	99.7	9	107.4	97.7
	兴化	9	101.8	112.1	9	94.1	92.6
	靖江	9	100.3	116.2	9	94.0	91.3
	丹阳	7	90.9	91.6	6	105.8	104.1
平均		100.4	107.0		98.9	95.7	

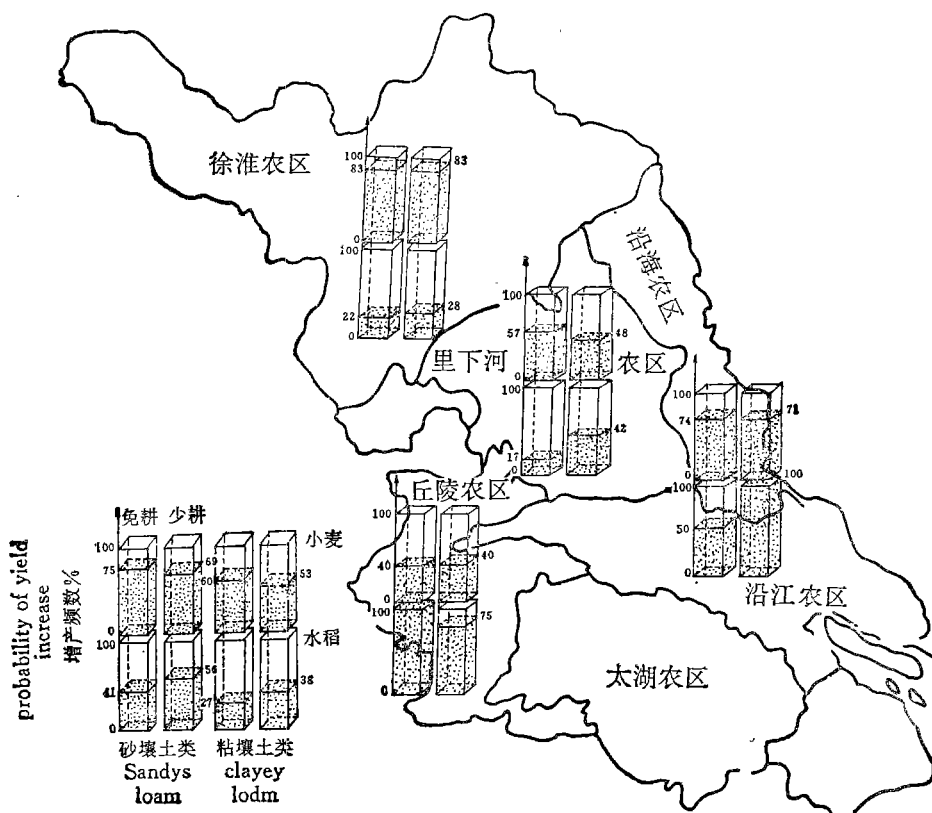


图1 江苏省不同土壤、不同生态区少、免耕稻麦增产频数(示意图)

Fig. 1 Probabilities of yield increase of rice and wheat under no and minimum tillages in different soils and farming regions of Jiangsu province

率大，而麦茬稻正相反，免耕的增产点数少。可见稻茬麦少免耕具有较可靠的增产效果，而免耕栽插水稻，在目前机械尚未配套的情况下，并不可取，以少耕和耕翻交替进行为宜。

从稻麦少、免耕的产量看(表2)，稻茬麦免耕在两种质地土壤上均表现增产，尤以粘壤土类更佳。少耕在砂壤土类上与免耕的产量接近，而在粘壤土类上与常耕持平，少耕增产幅度在砂壤土类上较大。麦茬稻的产量效应与稻茬麦相反，粘壤土类少、免耕减产幅度大，而少耕的产量在两类土壤上均好于免耕。此外，少、免耕麦的增产幅度有从南到北(N32°10'—N34°30')逐渐增大的趋势，而水稻有逐渐减少的趋势。

在本试验条件下，上述稻麦不同耕法间的产量差异，均未达到显著水平。少、免耕麦在正常年景和常耕的产量差异不大，而在旱涝年份增产幅度较大(表3)。这说明少、免耕种麦有利于抗灾保收。但连续多年应用少、免耕后，增产优势有所下降，这在长期定位试验中更为明显。据扬州点10年的定位试验结果，少、免耕麦子前三年平均增产9.5%，后7年仅增产3.4%，其它地方也有类似趋势，少免耕增产有效年限一般在2—3年¹⁾。

(二) 不同耕法对土壤肥力的影响

1) 同前1)。

表 3 不同气象条件下对少、免耕麦产量的影响

Table 3 Effects of different climatic conditions on the yield of wheat with no and minimum tillage

地 点 Locality	年份 Year	主要气象特点 Main climatic characteristics	小麦产量(与常耕比较) Wheat yield(% of then in conventional tillage treatment)	
			免 耕 No tillage	少 耕 Minimum tillage
沛县	1987—1988	秋涝	124.1	104.8
	1988—1989	正常	109.2	103.9
	1989—1990	秋旱	112.9	104.5
淮阴	1987—1988	秋涝越冬期提前	101.5	107.6
	1988—1989	秋旱春涝	121.0	119.4
	1989—1990	正常	101.7	99.8

1. 土壤容重、水分状况的变化及其对作物根系生长的影响: 实行少免耕后, 是否会引起土壤板结而影响作物生长, 这是普遍关注的问题, 表 4 是两类土壤在试验第 3 年稻麦收割后的测定结果。结果表明, 除粘壤土类稻收后 0—7 cm 的容重免耕 > 少耕 > 常耕外, 其余差异不大。而两种土类的少耕区 7—14cm, 因受机具多次压擦, 容重增加并超

表 4 不同耕法对土壤容重的影响

Table 4 Effects of different tillage methods on soil bulk density

土壤类型 Soil type	耕 法 Tillage method	深度 (cm) Depth	土壤容重 Soil bulk density(g/cm ³)	
			麦收后 After wheat	稻收后 After rice
砂壤土类	免耕	0—7	1.21	1.27
		7—14	1.37	1.37
		14—21	1.41	1.40
	少耕	0—7	1.21	1.35
		7—14	1.42	1.40
		14—21	1.42	1.40
	常耕	0—7	1.20	1.28
		7—14	1.31	1.33
		14—21	1.44	1.42
粘壤土类	免耕	0—7	1.14	1.28
		7—14	1.38	1.38
		14—21	1.52	1.48
	少耕	0—7	1.14	1.25
		7—14	1.36	1.36
		14—21	1.52	1.52
	常耕	0—7	1.18	1.19
		7—14	1.28	1.33
		14—21	1.45	1.47

过了稻麦适宜生长的土壤紧实度^[7-8,11]。说明任何土壤耕作都忌长期在同一层次进行,否则将产生新的障碍层。而少、免耕土壤渗透性好,有利于防渍促爽,提高根系活力。

2. 不同耕法对土壤养分含量及分布的影响: 表 5 是各类试验第 3 年稻麦收获后的测定结果,两种土类在不同耕作条件下的有机质和全氮贮量,均呈上多下少的分布趋势,表层是免耕>少耕>常耕。而 7—21cm 土体内的总贮量,少、免耕有所下降。全氮贮量免耕有所增加,且主要是表层,而 7cm 以下明显减少。土壤水解氮与速效磷含量,不同耕法间无明显差异,但在层次分布上,少、免耕区的表层有明显富集现象。在速效钾含量较低的土壤上,连续少、免耕会加剧速效钾的减少,少磷缺钾是少、免耕之后出现的新问题^[9]。太湖农科所的研究也有同一趋势^[1]。

表 5 不同耕法对土壤有机质和全氮贮量的影响

Table 5 Effects of different tillage methods on the contents of O. M. and total N of the soil

土壤类型 Soil type	耕 法 Tillage method	深度 (cm) Depth	有机质 O. M.(t/ha)	全 氮 Total N(t/ha)
砂壤土类	免耕	0—7	13.725	0.909
		7—14	10.890	0.762
		14—21	7.185	0.570
		0—21	31.800	2.241
	少耕	0—7	13.665	0.893
		7—14	11.625	0.762
		14—21	7.515	0.585
		0—21	32.805	2.240
	常耕	0—7	12.495	0.856
		7—14	11.715	0.796
		14—21	7.650	0.578
		0—21	31.860	2.230
粘壤土类	免耕	0—7	18.675	1.205
		7—14	16.395	1.048
		14—21	11.970	0.876
		0—21	47.040	3.129
	少耕	0—7	16.875	1.059
		7—14	16.560	1.032
		14—21	13.125	0.917
		0—21	46.560	3.008
	常耕	0—7	16.095	1.008
		7—14	16.575	1.054
		14—21	14.625	0.949
		0—21	47.295	3.011

3. 不同耕法对土壤微生物及病虫草害的影响: 不同耕法所造成的土壤物理环境和有

1) 同前 1)。

机物的不同分布状况,势必影响到土壤微生物的分布,其特点也同养分和作物根系一样,呈现表层富集,免耕 0—7 cm 土层中微生物数量占 0—28 cm 总量的 53—84%,而常耕仅占 24—56%。表收后犁底层以下的自生固氮菌和纤维分解菌比常耕区增加 2.7 倍和 4.6 倍。从微生物种群看,免耕表层以发酵性微生物占优势。从活性看,土壤 0—7 cm 的呼吸强度和尿酶活性远高于常耕(图 2)。

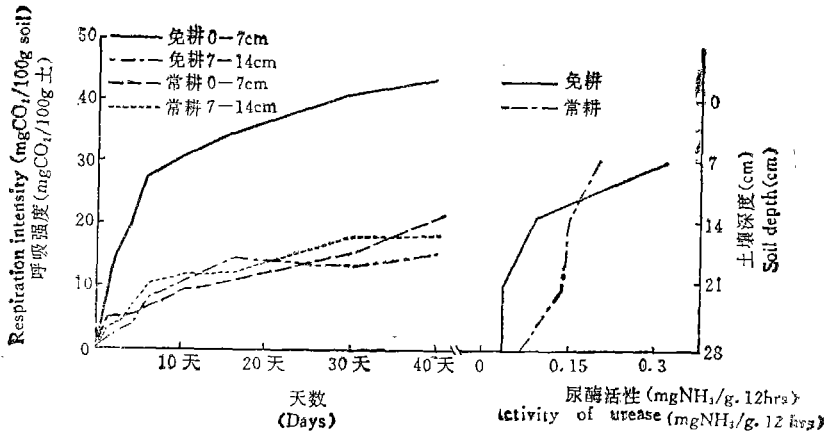


图 2 免耕法对土壤呼吸强度与尿酶活性的影响

Fig. 2 Effects of no tillage method on respiration intensity and urease activity of the soil

耕法对在土壤中越冬或越夏的害虫,如稻象甲、大螟、二化螟、三化螟等有直接影响。实施免耕,有利于维持其自然栖境,提高越冬存活率,增加来年种群基数,加重虫害。而少耕可减少越冬基数,因在施耕过程中,将根撕裂,抛于表土,对害虫越冬不利。耕翻田则更不利其越冬,如稻象甲幼虫的越冬死亡率是常耕>少耕>免耕(分别是 93.67%, 81.76% 和 75.75%)。有些害虫如稻纵卷叶螟、稻苞虫等受耕法的影响是间接的,它们有趋浓绿的特性,在淮北地区由于少免耕稻田叶色较浅,因而为害轻于常耕田。耕法对病害直接影响较小,但免耕田杂草增多,影响到田间小气候,使麦田纹枯病、白粉病有加重趋势。

免耕田杂草种子集中在 0—5 cm,少耕田在 0—10 cm,而常耕田耕层 15 cm 内分布较均匀。出草高峰,免耕田主峰值要比耕翻田高,且峰期提早 5—7 天,出草集中,密度大,为害加重,但由于出草快而集中,有利于化学除莠。

4. 不同耕法对土壤肥力影响的综合评价:土壤的肥力水平是土壤诸多基本特性的综合反映。这就要求我们在评价土壤肥力时,全面地评价不同耕法对土壤肥力的影响。表 6 是对各试点的有机质、全氮、水解氮、速效磷、速效钾和容重 6 项指标的综合分析结果。从表可看出,少免耕与常耕相比,表层肥力免耕最佳,中层以少耕最差,免耕的下层和少耕的中下层肥力均较常耕差。水稻实行少、免耕,其土壤综合肥力值有所提高,小麦则差异不大。从总体上看,三种耕法麦收后的土壤肥力均较稻收后高,这说明麦作过程的土壤经干湿冻融交替作用后,有利于改善土壤肥力的总体结构。两种土类相比,粘壤土类实行少免耕后更能促使肥力向好的方面发展。

表 6 不同耕法土壤综合肥力指标得分值

Table 6 Values of comprehensive fertility index of soils under different tillage methods

耕 法 Tillage method	深 度 (cm) Depth	时 间 Time			土 壤 类 型 Soil type		
		稻 收 后 After rice	麦 收 后 After wheat	平 均 Average	砂 壤 土 类 Sandy loam soil	粘 壤 土 类 Clay loam soil	平 均 Average
免 耕	0—7	61.0	65.1	63.1	57.9	68.2	63.1
	7—14	53.5	55.0	54.3	51.4	57.1	54.3
	14—21	40.2	47.0	43.6	39.2	48.0	43.6
少 耕	0—7	63.4	68.0	65.7	56.8	74.6	65.7
	7—14	52.3	53.6	53.0	48.4	57.6	53.0
	14—21	41.0	44.2	42.6	37.1	48.1	42.6
常 耕	0—7	59.0	62.8	61.9	56.0	67.6	61.8
	7—14	51.9	55.3	53.6	50.1	57.2	53.7
	14—21	41.6	47.9	44.8	39.2	50.2	44.7

表 7 不同肥力的耕法产量效应

Table 7 Effects of tillage methods on the crop yields of soils with different fertility (t/ha)

耕 法 Tillage method	施 肥 状 况 Fertilization status	小 麦 Wheat				水 稻 Rice			平 均 Average
		年 份				年 份			
		1987	1988	1989	1990	1987	1988	1989	
免 耕	施 肥	4.730	4.768	4.817	5.335	7.110	6.504	6.387	5.662
	不 施 肥	2.574	2.370	2.499	2.280	3.125	4.599	3.474	2.988
	施—不施	2.156	2.398	2.318	3.055	3.985	1.905	2.913	2.676
少 耕	施 肥	4.866	4.230	4.776	5.019	7.127	6.537	7.126	5.668
	不 施 肥	2.625	2.251	2.550	2.138	3.183	4.563	3.779	3.012
	施—不施	2.241	1.979	2.226	2.881	3.944	1.974	3.349	2.656
常 耕	施 肥	4.701	4.653	4.485	4.910	6.675	6.665	6.594	5.526
	不 施 肥	2.682	2.435	2.670	2.558	3.716	4.781	3.978	3.366
	施—不施	2.019	2.218	1.815	2.352	2.209	1.884	2.541	2.160

(三) 不同农区合理轮耕模式及其应用

1. 轮耕周期的确定与宜耕时机的选择: 轮耕周期的确定涉及面较广, 影响因子较多, 但最重要的指标是土壤肥力劣变而引起减产的临界年。这其中土壤有机质的表现很特殊, 实行少免耕后有机质含量高的土壤较有机质含量低的土壤更能缓冲中下层因有机质含量下降而引起容重增加的矛盾。Pidgeon^[12] 在分析了不同土壤特性后, 也曾指出有机质贫乏的土壤不宜实行免耕。我们在具体确定轮耕周期时, 对下耕层有机质含量的减少和土壤容重的增值视为重要指标之一^[7,8], 因为下耕层土壤理化性状的劣变, 直接影响到作物的产量。不施肥条件下的耕法效应试验结果(表 7) 表明, 连续 4 年不施肥的少、免耕

产量始终低于常耕，而在施肥条件下，则高于常耕，这说明在缺肥条件下或瘠薄土壤上，由于土壤代谢势弱，自调性差，人为辅以耕作十分必要，轮耕周期要短，甚至可以实行麦免稻耕，反之则可长些。这一结果也告诉我们少、免耕必须结合增施肥料，才能达到增产的目的。

耕作的时宜以能充分发挥机具效益、改良土壤和获得作物高产为原则，从宜耕、利土、抢时、省工等综合效果出发，以夏耕为主，积极争取秋耕为宜耕时机。因为夏耕可充分利用阳光晒垡，促进养分释放，熟化底土，改善结构，同时可借水平田，为少、免耕创造有利条件。

2. 轮耕模式与应用：根据各生态农区定位试验结果和大规模生产调查，在不同类型土壤上采用少免耕生产，土壤肥力和作物产量都有衰减期，必须实行轮耕才能保持和发展土壤肥力，确保持续高产。这个轮耕制应以少耕为主体，少免耕交替，定期耕翻的深、浅、免有机结合的体系。其分区模式如图 3。它能较好地集不同耕法的优点。通过定期耕翻疏松土壤，提高肥力，减轻病虫害，同时为深施有机肥和翻埋秸秆创造了条件。经近三

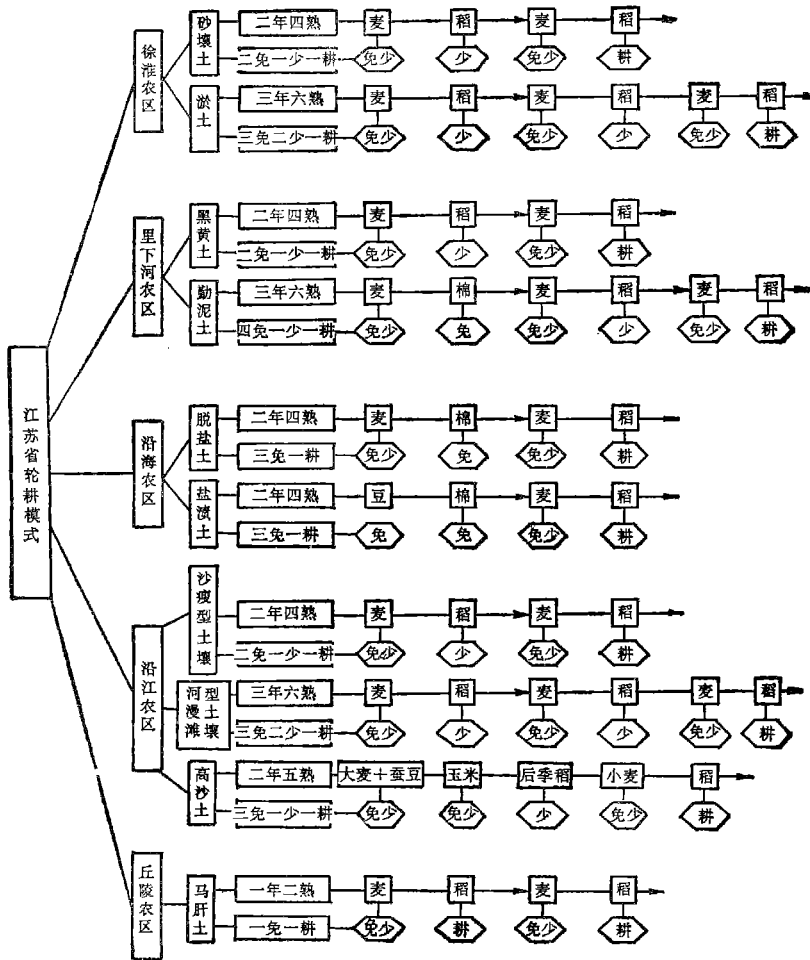


图 3 江苏省不同农区轮耕模式

Fig. 3 Rotation tillage patterns in different farming regions of Jiangsu province

年的应用,推广面积累计达 79.3 万公顷,增粮 7.5 亿公斤,新增纯收入 3.98 亿元,取得了明显的效益。

在具体实施时,轮耕必须和轮作和谐结合^[10]。从种植制度综合优化要求出发,根据所具备的条件和作物要求,灵活运用与轮作相适应的轮耕模式,使轮耕的效益得到充分的发挥。土壤培肥和化学除草是两个重要方面,合理轮作也将在这些方面起到良好作用。此外,还应在旱涝灾害发生的年份,采取相应的应变措施,使科学土壤管理的轮耕新体系建立在更可靠的基础上。

参 考 文 献

1. 邵达三、黄细喜、陶嘉玉等, 1985: 南方水田少(免)耕法研究报告。土壤学报,第 22 卷 4 期, 305—319 页。
2. 黄东迈, 1988: 免耕少耕条件下土壤肥力与施肥。土壤通报,第 19 卷 2 期, 93—97 页。
3. 赵诚斋、周正度、董百舒等, 1981: 苏南地区水稻土的合理耕作研究。土壤学报,第 18 卷 3 期, 223—233 页。
4. 潘遵谱等, 1986: 免耕法在太湖稻麦轮作地区的应用效果。江苏农业学报,第 2 卷 4 期, 25—33 页。
5. 黄细喜等, 1984: 不同耕法对土壤肥力的影响。江苏农学院学报,第 5 卷 4 期, 12—16 页。
6. 赵诚斋, 1989: 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕的关系。土壤学报,第 26 卷 2 期, 101—107 页。
7. 黄细喜等, 1986: 不同耕法对水稻根系生长的影响。江苏农业学报,第 2 期, 26—32 页。
8. 黄细喜等, 1989: 不同耕法对土壤紧实度和小麦根系生长的影响。上海农业学报,第 5 卷 1 期, 61—66 页。
9. 黄细喜等, 1991: 新型耕作技术及理论。东南大学出版社, 17—26 页, 54—63 页。
10. 大久保隆弘, 1977: 作物轮作技术论。农业渔村文化协会, 11—16 页。
11. Ghildl, B. P., 1978: Effects of compaction and puddling on soil physical properties and ricvgrowth. *Soil and Rice*. 318—336.
12. Pidgeon, J. D., 1980: A comparison of the suitability of two soils for direct drilling of spring barley. *Soil Science*. 31:581—594.

A NEW ROTATION TILLAGE SYSTEM FOR RICE-WHEAT MULTIPLE CROPPING IN JIANGSU

Huang Xixi, Liu Shiping, Chen Houqing and Shao Dasan

(*Jiangsu Agricultural college, Yangzhou, 225001*)

Summary

Three different tillage methods in 5 different farming regions of Jiangsu were surveyed by location test examine how these tillage methods effect the soil fertility and the yields of rice and wheat. The results show that sowing at the same term, the yield of wheat with minimum-or no-tillage was more prebable to increase, with a greater increment on clay loam than on sandy loam; the yield of hand transplanted rice in no-tillage treatment tended to decrease, with a greater decrement on clay loam than on sandy loam also; and both the change ranges tended to increase grandually from raised south to north (32°10'N—34°30'N). Minimum-or no-tillage notably the nutrient contents of the surface soil, but the soil bulk density below 7cm also increased. Organic matter, available nitrogen, phosphorus and potassium all tended to decrease. Comprehensive analysis of soil fertility indicates that as for fertility enhancement, minimum-or no-tillage was more advantageous for clay loam than for sandy loam. Based on extensive survey and comprehensive analysis, a new rotation-tillage system was put forward, in which minimum tillage is the principal part, minimum and no-tillage alternate and deep, shallow and no-tillage rotate periodically. This new system continued and developed the merits of different tillage methods, and correctly handled the contradictions between multiple cropping and farming season, farming and promoting the soil fertility, high yield and high efficiency, thus promoting the development of agronomics in Jiangsu. In recent years, this new tillage system has been extended to a total area of 794000ha in Jiangsu. The application of this new rotation-tillage system has increased yield by 7.5×10^9 kg and net income by 3.98×10^9 yuan and gained significant social, economic and ecologic benefits.

Key words Rice, Wheat, Multiple cropping, Minimum-or no-tillage, Rotation-tillage system